

Az OTKA által fiatal pályakezdő kutatók számára kiírt kutatási pályázatban elnyert F-68497 azonosítóval rendelkező kutatási program szakmai záróbeszámolója

A projekt keretében a Pannon medence és környezete nagyszerkezeti egységeinek jelenkori kinematikáját vizsgáltam GPS mérések alapján.

A kutatási szerződésben vállalt eredeti munkaterv

Munkaterv

2007-ban:

- Az 1991-es és 2003-as kerethálózati adatok retrospektív analízise.
- A kerethálózat pontjainak szemléje különös tekintettel a laza üledékes területekre.
- A kerethálózati mozgásvizsgálati kampány megszervezése, kivitelezése.

2008-ban:

- Szélső pontosságú, tudományos igényű GPS adatfeldolgozás. Szükség esetén a kiértékelő szoftver fejlesztése.
- Közel két évtizedes időbázisú, teljes, országos, egyenletes lefedettségű sűrű kéregmozgás vizsgálati integrált GPS adatbázis elkészítése a szerkezeti egységek és törésvonalak vizsgálatához.
- A magyar GPS geodinamika hálózat mérésének előkészítése.

2009-ben:

- A magyar GPS geodinamika hálózat mérése.
- Az adatfeldolgozás folytatása: sebesség és deformációs paraméterek számítása, bázisvonalhossz változás analízis.
- A permanens állomások adatainak mozgásvizsgálati értékelése és értelmezésbe való bevonása.
- Az adatok kiértékelése, értelmezése, és a tektonikai információk levonása.
- Interpretáció, konferencia illetve írott publikáció.

A munkaterv során megvalósuló tudományos munkák, eredmények:

A kutatás során először vonjuk be a laza üledékes területeket, először készül mozgásvizsgálati értékelés a GPS kerethálózaton, először vonjuk be a permanens állomáshálózat adatait a tektonikus mozgásvizsgálatba, s folytatjuk a GPS mozgásvizsgálatot. Ezek eredményeként a GPS-es kéregmozgás vizsgálat egy ugrásszerű rendkívüli felbontásbeli, pontosságbeli és lefedettségbeli javulását érjük el. Ez először teszi lehetővé a nagyszerkezeti egységek kinematikájának és a nagyobb törésvonalak aktivitásának vizsgálatát és egy sor jelentős tektonikai információ levonását. Lehetővé válik a TISZA egység vizsgálata, s az ALCAPA mozgásának pontosítása, mindkét egység merevségét belső deformációját sőt pontos lehatárolására és relatív mozgásuk meghatározása. A közép-magyarországi nyírózóna aktivitása, a mozgás jellege, magnitúdájának és esetleges térbeli eloszlásának meghatározása lehetővé válik. A környező területek, az Európai Platform, Adria, Dinaridák rendszerével együtt vizsgálva megállapítható ezen összetett, mozaikszerű kontinentális ütközőzóna kinematikája. Az ALCAPA határának egy északi szegmense a közel 3 millió embert érintő Mur-Mürz vonal földrengés veszélyeztetettségének ismeretében előrelephetünk, s megállapíthatjuk, hogy vajon a közép-magyarországi nyírózóna középső, Paks közeli szegmense mentén van e relatív mozgás. Az

ALCAPA belső deformációjának pontos vizsgálata a főváros tektonikai helyzetének tisztázására is elengedhetetlen.

GPS Kerethálózat: szemle, felkészítés

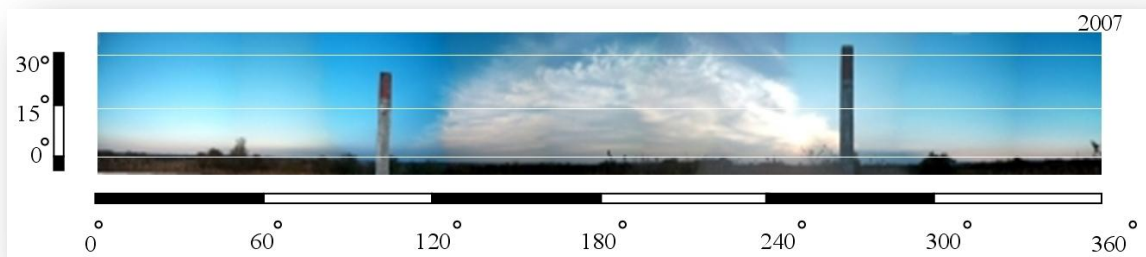
A kutatási feladatok végrehajtásának első, megalapozó lépése volt a nagyobb felbontást és országos lefedettséget biztosító GPS geodinamikai hálózat megtervezése. Mivel az új pontok telepítése drága és legfőképp pozíciómérésük újabb két évtizednyi időt kíván a pontos kéregmozgás sebesség kimutatásához, így a célomhoz az 1991-ben már más okból megmért GPS kerethálózati pontokat javasoltam bevonni. Ehhez ezen pontok geodinamikai minőségvizsgálatát kellett elvégezni. A mozgásvizsgálatba bevonandó pontok laza üledékes területeken helyezkednek el, robusztus, stabil állandósítással és kényszerközpontos antenna felállítással rendelkeznek. Mindezen kedvező tulajdonságok mellett számos faktornak kell még teljesülnie a szélső pontosságú geodinamikai alkalmazhatóság elérése érdekében. Ennek megfelelően a Magyar GPS Kerethálózat összes pontjának szemléjét, szélső pontosságú mérésekre való felkészítését, minőségvizsgálatát, pontfelújítást, karbantartást szerveztem és hajtottunk végre. Ennek keretében a következő feladatokat végeztük el: GPS jelek vételének, zavarainak vizsgálata, a környezet minőségvizsgálat, horizont takarási ábra készítése, zavaró elektromágneses jelek spektrumanalizátoros vizsgálata, többutas jelterjedés veszélyének regisztrálása, a növényzet irtása 10 fok magassági szög felett, az antenna adapter és pontjel karbantartása, felújítása, a hosszú távú fennmaradáshoz szükséges védelemmel való ellátása, új pontleírások készítése, s így a laza üledékes pontok szélső pontosságú mérésekre való felkészítése.

Az alábbi ábra szemlélteti a pontok minőségvizsgálatának menetét. A laza üledékbe süllyesztett vasbeton szerkezetben lévő sárgaréz perselyben áll az antenna adapter, rajta a horizontfotózáshoz szükséges szerkezet, amellyel az észlelés kitakarásait lehet vizuálisan megjeleníteni. A GPS antenna a jobb oldalon össze van kötve a spektrumanalizátorral, amely a GPS, GLONASS és a GALILEO Globális Navigációs Rendszerek (GNSS) frekvenciáinak és környezetének interferencia vizsgálatára használunk.



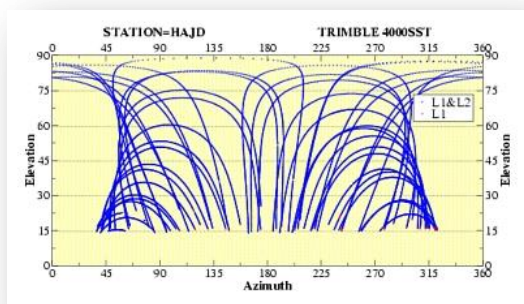
1. ábra. A GPS pontok geodinamikai alkalmazhatósági vizsgálatának terepi részlete. Az ábra mutatja az állandósítás módját, antenna adaptert, a csatlakoztatott horizontfotóhoz szükséges szerkezetet és a frekvencia spektrumanalizátoros mérést.

A horizontfotózás eredményét mutatja a 2. ábra. A több képből összeállított kompozit, magassági és azimut szögeket helyesen, pontosan mutatja. A kíváncsú a 10-15 fok magassági szög feletti zavartalan égbolt megléte azaz, hogy a műholdészlelést ne gátolja takarást jelentő objektum. Az alábbi példa egy alföldi pont esetében mutatja az égbolt kitakarásait. A pontjelző és annak védelmét ellátó –ami mezőgazdasági területeken elengedhetetlen- vasbeton oszlopokon kívül más zavaró objektum nem látható a horizont felett.



2. ábra. Körpanoráma a GPS antenna adapteréről az egyik észak-alföldi GPS pont esetében. A kép az égbolt kitakarását szemlélteti alacsony beesési szögeknél egy újonnan bevonandó laza üledékes pont esetében. A pontot védő és jelző betonoszlopokon kívül más műholdészlelést zavaró kitakarás alacsony szögeknél nincs.

A teszt GPS mérés során meggyőződünk, hogy mindkét frekvencián szakadásmentes, zavartalan észlelést lehet végrehajtani. Ez különösen fontos volt a Kondorfa és Iharosberény pontokon, hisz a nyugati országrészben telekommunikációs célból részben illegálisan működő, korábban több GPS észlelést lehetetlenné tevő interferenciát tapasztaltunk. A GPS tesztmérések során minden műhold esetére az égbolton végig tudjuk követni annak észlelését mindkét sugárzott frekvencián. Ennek az égboltra a műhold járására vonatkoztatott képét mutatja a 3. ábra. Kék vonal jelzi az adott GPS műhold észlelését ahogy az az égbolton áthalad. A műszer 15 fokos kitakarási szögére volt beállítva, így a mérés ott van levágva. A végig kék műhold útvonalak azt jelzik, hogy zavartalan, szakadásmentes, mindkét frekvencián szimultán észlelés zajlott. Az alábbi példa egy észak-alföldi GPS pont műholdészleléseit mutatja Hajdúdorog közelében.



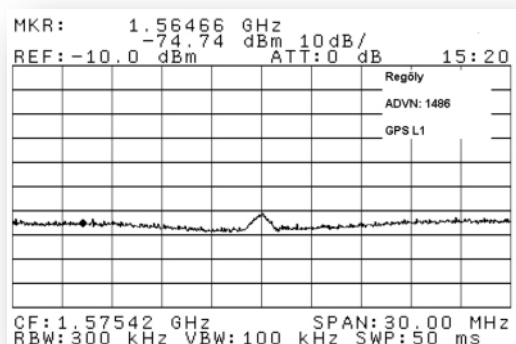
3. ábra. Napi GPS mérésből számított műholdpályák az égen az adott ponton és annak közvetlen észleléséből. A kék színű égbolton leírt műholdpályák az L1 és L2 frekvenciák egyidejű szakadásmentes észlelését jelzik.

A spektrumanalizátoros méréseink során megvizsgáltuk a globális navigációs rendszerek a GPS, a GLONASS és a jövőben elkészülő európai rendszer a GALILEO sugárzott jelei frekvenciájának és környékének spektrumát, van- e más a mérést esetleg befolyásoló jel az egyébként műhold-Föld információközlésre fenntartott sávban. Az általunk vizsgált frekvenciák a következők voltak MHz mértékben kifejezve:

GPS-L1	1 575.42 MHz,
GPS-L2	1 227.6,
Glonass L1	1604,
Glonass L2	1247,
GPS L5/E5	1 164 - 1 215,
Galileo E4, E6	1 250 - 1 300,
Galileo E2, L1, E1	1550 – 1600,

Az GPS Kerethálózat bevonandó pontjain végigvizsgáltuk az összes GNSS frekvenciát. A 4. ábra szemlélteti egy ilyen vizsgálatunk eredményét. A példán a Dunántúli-dombság területén elhelyezkedő Regöly nevű GPS pont GPS L1 frekvencia és 30 MHz-es környékének elektromágneses hullámai jelerősségét mutatja. Látható, hogy a GPS jel jól észlelhető a spektrumanalizátor ábráján, s az

elektromágneses spektrum környezete nem zavart, más jel a GPS L1 frekvencia környékén nincs. Lényeges megjegyezni, hogy időről időre érdemes lenne ilyen vizsgálatokat végezni, hisz a zavaró jel tapasztalatunk szerint időlegesen is jelen lehet. A vizsgálati időpontunkban, a 2007-es MGGA GPS mérési kampány előtt zavaró interferenciajelenséget nem észleltünk.



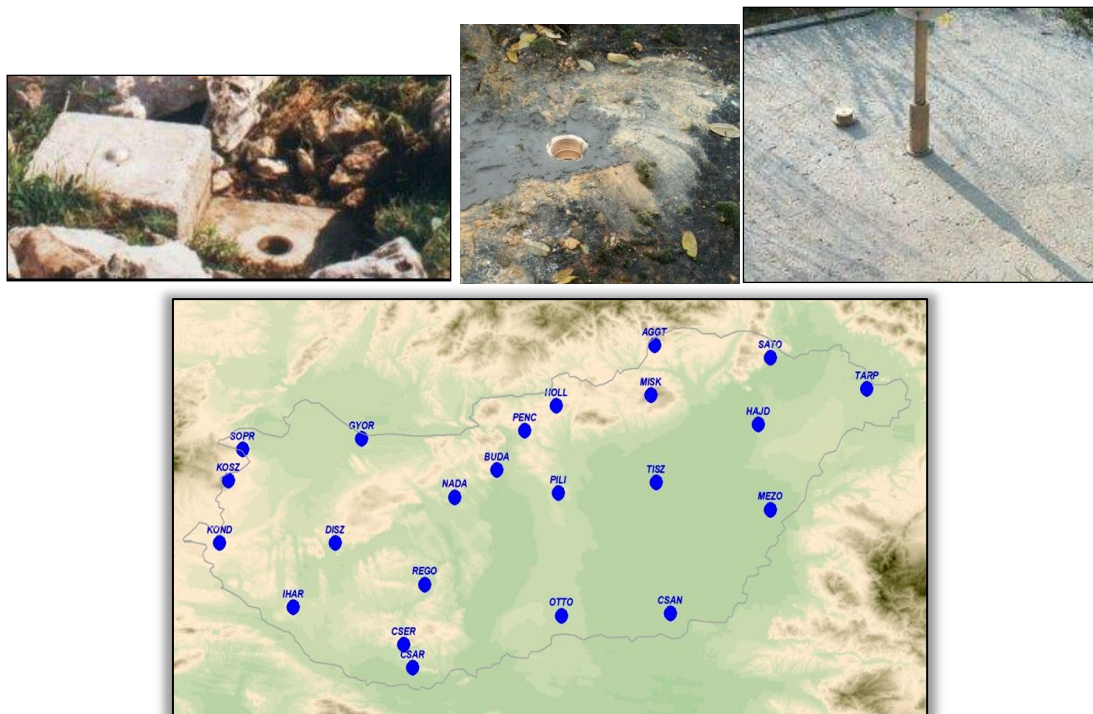
4. ábra. A Regöly ponton végrehajtott spektrumanalizátoros méréssorozat GPS L1 frekvencián és 30 MHz és környezetében felvett jelerősségeket szemlélteti.

A fenti vizsgálatok mellett elvégeztük még minden bevonandó pontra a többutas jelterjedés veszélyének regisztrálását, a növényzet irtását 10 fok magassági szög felett ha szükséges volt, az antenna adapter és pontjel karbantartását és felújítását. Ez utóbbi a Mezőberény pont esetében igen lényegesnek bizonyult, mert a menete nem engedte az adapter megfelelő behelyezését és ez magassági értelemben 6-7 mm változást okozott volna. A pontokat a hosszú távú fennmaradáshoz szükséges védelemmel is elláttuk. Sajnos a Ballószög nevű pont a Kiskunságban időközben elpusztult, így azon értelemszerűen már ezeket a vizsgálatokat nem tudtuk elvégezni, s a mérésekbe bevonni sem. Ahol a két évtized elteltével szükséges volt, új pontleírásokat is készítettünk.

Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózat (MGGA)

A fenti munkák és a későbbi, már teljes országos lefedettségű, üledékes és sziklakibúvásokon egyaránt elhelyezett összes GPS geodinamikai pontot tartalmazó mérési kampányok megszervezésével, a Magyar GPS Geodinamikai Referencia Hálózat (HGRN) és a GPS Kerethálózat egyesítésével létrehoztuk a Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózatot (MGGA). Ez a legjobban állandósított, legpontosabb, legnagyobb időbázissal és legprecízebb sebességgel rendelkező országos geodéziai hálózat. A hálózat a következő főbb egyedülálló tulajdonságokkal rendelkezik:

- A pontok kivétel nélkül képviselik a földtani környezetüket
- Rendkívül stabil szilárd sziklakibúvásban vagy laza üledéken a talajba süllyesztett robusztus állandósítással rendelkeznek
- Kényszerközpontos antennafelállítással mérhető
- Ideális mérési körülmények
- Szélső, geodinamikai pontosságú GPS mérési kampányok, tudományos igényű adatfeldolgozás
- Két évtizedes időbázis, monitorozó mérések, pontos sebességadatok

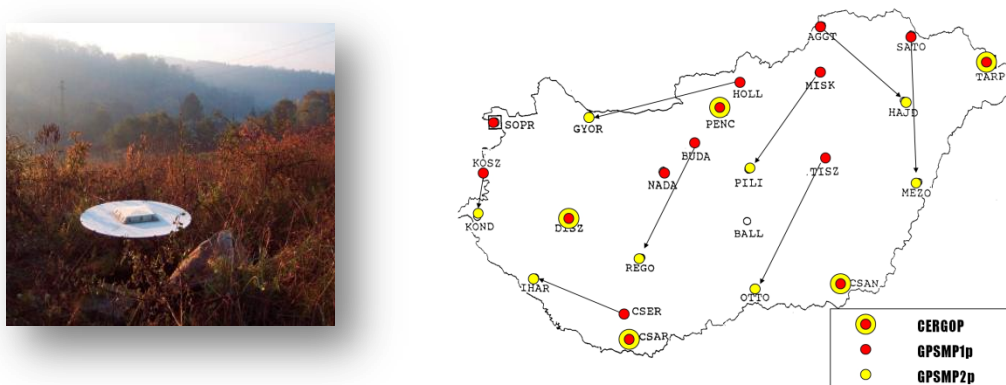


5. ábra. A Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózat (MGGA). A fenti ábraszorozat a hálózatban alkalmazott pontállandósításokat mutatja, az alsó ábra pedig a pontok országos elhelyezkedését.

MGGA GPS geodinamikai mérési kampányok

A hálózat tényleges létehez a fizikai megléte és minőségi kívánalmaknak való megfelelése mellett a pontok szélső pontosságú geodinamika GPS mérésekkel való egységes meghatározása is szerves részét képezi. Így a hálózat felkészítése után meg kellett tervezni és végre kellett hajtani a teljes hálózaton az első szélső pontosságú GPS mérési kampányt. Ezt 2007-ben majd az újramérést 2009-ben az év ugyanazon időszakában, az éves esetleges periodicitás kiküszöbölése miatt, először 2007 június hónap végére 18. és 24. között időszakra szerveztem. A mérésekhez teljesen új logisztikát kellett kidolgozni, s ennek megfelelően kellett végrehajtani. A mérési kampányokat a műszer és emberhiány és költséghatékonyság miatt és az ugyanazon sorozatszámú antennák azonos helyre való kerülésének figyelembe vételével, kötőpontok alkalmazásával 2 periódusban kellett végrehajtanunk. Így a 7 nap alatt 2-szer 3 napos 24 órás, folyamatos, egyidejű észleléseket hajtottunk végre. Ennyi pontot ilyen hosszú folyamatos észleléssel még nem mértünk az országban. Összesen egy héten át napi 24 órában folytak a szélső pontosságú GPS mérések. Az állandóan működő GPS állomások bevonásával közel 60 pont került szélső pontosságú meghatározásra a mérési kampány időszakában az országban. Ez messze túlszárnyalja az eddigi rekordot. A mérések során minden pontról hibátlan észleléseket sikerült gyűjteni. 2008-ban előkészítettem a következő, második 2009-es mérési kampányt is, amelyet 2009 június 22 és 28 között hajtottunk végre. míg a hazai pontok két periódusban június 22-23-24-25 és 25-26-27-28 napokon 3x24 órát észleltek, addig a közép európai méréseket 5 napon át folyamatosan végeztük 2007-hez hasonlóan. A méréseket kétfrekvenciás nagy pontosságú geodéziai GPS műszerekkel végeztük. A 2007-es mérések körülményei átlagosak voltak, viszont a 2009-es mérési kampány különösen zivataros időszakra esett. Ez nem kedvez a szélső pontosságú GPS méréseknek, hiszen az úrből érkező elektromágneses jeleket a troposzféra igen változatos, rapszódikus, GPS pontról pontra drámaian változó nedvességtartalma és a

villámtevékenység nagymértékben befolyásolja. Ezt a különböző adatfeldolgozási algoritmusokkal nehéz kiküszöbölni, így a magassági komponensben nem vártunk rekordpontosságot. A méréseket éppen végző egyik szakember részt is vett nagymennyiségű lehullott csapadék miatti helyi árvízben való mentésben.

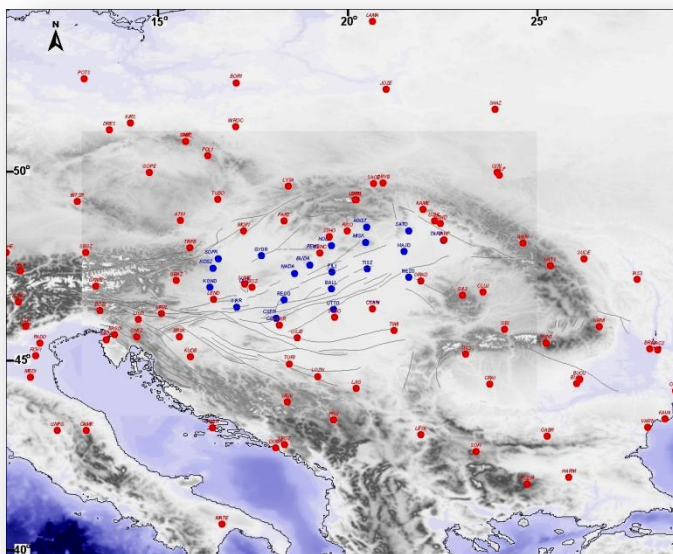


6. ábra. A Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózat (MGGA) mérési kampányai 2007 és 2009 években. A jobb oldali ábra a mérés menetét, periódusait és a 2x3x24 órás mérés átállásait, valamint az 5x24 órás közép-európai pontokat jelzi.

A 2007 júniusában megtörtént mérésekkel teljes, országos lefedettségű GPS geodinamikai hálózatot hoztam létre és mértünk meg. A 2009-es mérésekkel pedig már közel két évtizedes időbázist sikerült elérni, hisz minden pontról rendelkezünk adatokkal 1991-től 2009-ig. Ezzel teljes mértékben sikerült bevonni laza üledékes területeket is. Így a következő időkben számítandó sebességtérképen az Alföld és a Kisalföld és a Dunántúli-dombság is reprezentálva van, s így először tudunk kéregmozgás adatokat meghatározni az ország teljes területéről. Eddig csak a szilárd sziklakibúvások, azaz a középhegységi rész volt reprezentálva, azaz az ország kevesebb, mint fele. Geometriailag a teljes lefedettség mellett korábban csak egy ÉK-DNy-i vonalban voltak információink. Az MGGA ezzel a legjobban állandósított, legpontosabb, legnagyobb időbázissal és legprecízebb sebességgel rendelkező országos geodéziai hálózattá vált.

Közép-európai geodinamikai vizsgálatok, nemzetközi együttműködés

A hazai GPS geodinamikai mérések mellett mi koordináltuk a Közép-Európai GPS Geodinamikai Referencia Hálózatnak (CEGRN) a 2007-es és 2009-es mérési kampányát is. Így Magyarországot is beleértve 14 országban egyidőben szerveztük és koordináltuk az összesen több mint 100 GPS mozgásvizsgálati ponton a méréseket. A közép-európai hálózat pontjai 5 napot, azaz 5x24 órát észleltek mindenhol a közép-európai térség 14 országában Olaszországtól Lengyelorszáig, Bulgáriától Németorszáig. Az észleléseket az adatközpontba gyűjtöttük és onnan kerültek az egyes adatfeldolgozó központokhoz, a tudományos igényű adatfeldolgozásra, majd annak végeztével kombinálásra. Az alábbi ábra szemlélteti a két projektben szereplő geodinamikai hálózatot a CEGRN-t és a hazai MGGA-t. Ezeknek a méréseit koordináltam adatait dolgoztam fel és értelmeztem, valamint az ezekkel párhuzamosan észlelő hazai permanens állomások adatait is a feldolgozásba bevontam.



7. ábra. A Közép-Európai GPS Geodinamikai Referencia Hálózat és a Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózat pontjai. A projekt keretében megszervezett és végrehajtott 2007 és 2009-es mérési kampányok során itt történtek észlelések.

A mérések mellett az értelmezésben is igen kiterjedt nemzetközi együttműködés és publikációs tevékenység zajlott a projekt kutatási periódusában, amelyben aktívan részt vettem. Integrált több hálózatos közös elemzést hajtottunk végre a térségben és az eredményeket a *Journal of Geodynamics* és *Tectonophysics* folyóiratokban publikáltuk (lásd irodalomjegyzék).



Minden év tavaszán a közép-európai GPS geodinamikai kutatásokat összefogó és koordináló 14 országot tömörítő CEGRN Consortium megrendezi az éves találkozóját az Osztrák Tudományos Akadémia épületében. Itt az operatív feladatok és tudományos munka mellett a szervezetet érintő egyéb ügyekben is döntések születnek, így 2007-ben a szervezetet vezető 4 fős CEGRN Consortium Governing Board tagjává választottak. 2010 májusában pedig az új tisztségviselő választáson felkérték a CEGRN Consortium elnökének, amit más elhivatottságok miatt nem tudtam elvállani.

Adatfeldolgozás, analízis

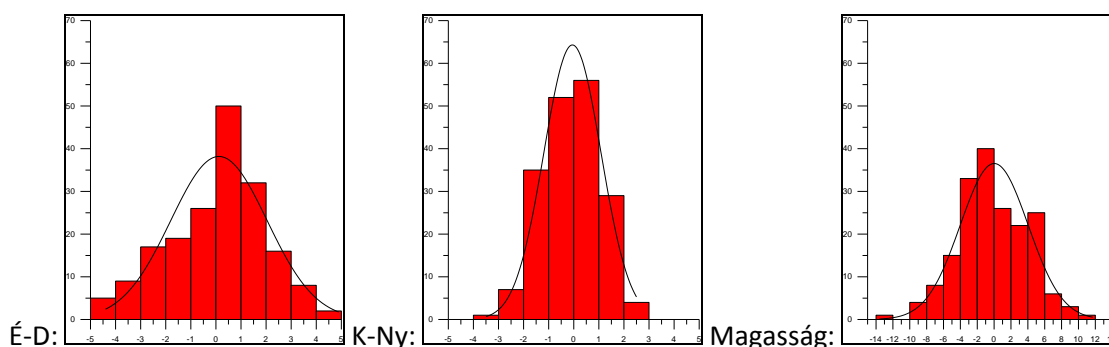
Az adatfeldolgozás első lépéseként a munkaterv legelső feladatáént az 1991-es és 2003-as kerethálózati adatok retrospektív analízisének elvégzését tűztem ki. Az 1991-es mérések esetében a CIGNET (Cooperative International GPS Network) volt a műholdpályák követőhálózata és észleléseiből számították a precíz pályaelemeket az 1980-as évek végétől 1992-ig. Ekkor még a GPS rendszer sem volt teljes. Majd az IGS (International GPS Services for Geodynamics, International GPS Service) váltotta fel és készíti a műholdpálya adatokat a mai napig. Az 1991-es és 1993-as eredmények között ezért 7 paraméteres Helmert transzformációkat végezve a becsült paraméterei és reziduáljai beigazolták a két pályarendszer miatt meglévő jelentős skálafaktor különbséget az

epochák koordináta szettjei között. Ez később a kiértékelésnél is szembetűnő volt. Mindezek alapján figyelemmel kellett lenni, hogy az MGGA 'új' pontjait 1991, 2003, 2007 és 2009-ben mértük meg, s az első epocha és a második közötti 12 év elmozdulásaiban a pályák miatt referencia rendszer különbség van, kicsi, de észlelhető mértékben. A teljesség kedvéért az 1991-es adatokat mindig megtartottam a kiértékelés minden szakaszában.

2003-ban ez egységes európai magassági hálózati sűrítés keretében, a geodinamikai mérési kampány mellett a GPS Kerethálózat bizonyos pontjai is az év későbbi részében meghatározásra kerültek hasonló szélső pontosságú mérésekkel. Az eredmények jelentősek a most bevont üledékes pontok esetében, hisz 1991 és az MGGA első, 2007-es mérései között teremti meg az idősorban a kapcsolatot. Így egyértelmű, hogy ezeket a méréseket is be kellett vonjam a kiértékelésbe. Az adatok analízisének kiderült, hogy az iharosberényi ponton 2003-ban olyan GPS antenna észlelt, amelynek fáziscentruma nem a model alapján viselkedik. Így ennek figyelembevételével kellett a kiértékelést végrehajtani, a vízszintes komponensben ez több mint 1 cm virtuális elmozdulást eredményezett volna, ami akár teljesen elfedte volna a tektonikai jelet az adott időpontban.

2007-es és 2009-es MGGA nagyszabású méréseinek tudományos igényű adatfeldolgozását is elvégeztem. Mind az MGGA mind a geodéziai célú szimultán a méréseinkkel észlelő permanens állomások adatait feldolgoztam. Mindkét esetben hasonló tudományos igényű adatfeldolgozási stratégiát követve a Bernese GPS Software version 5.0 programmal végeztem a számításokat. Ez egy teljesen új, átdolgozott, számos helyen továbbfejlesztett verziója a szoftvercsomagnak. 2007-től már ezt használtam az adatfeldolgozásra. Az összes mérési periódus GPS pontjaira az adatok kiolvasása után elvégeztem az ún. RINEX (vevőfüggetlen) konverziót. Ez jelenti a szélső pontosságú tudományos igényű GPS adatfeldolgozó szoftver bemenő megfigyelési adatait. A mérési idő után a globális követőállomás hálózat (IGS/International GPS Service) adatközpontjai (esetünkben a CODE/Centre for Orbit Determination) által kiszámított precíz pályaelemek 1-2 héttel válnak elérhetővé. Ezután a CODE földforgás paraméterek és a műholdadatok, manőverek letöltésével indult a szélső pontosságú GPS adatfeldolgozás. A precíz pályaelemekből számított 7 darab 24 órás műhold pályáiban mindhárom komponensben az összes észlelt 31 holdra 1-2 cm szórásérték adódott. A kódészlelések a keresztkorrelációs vevőknél 1 m körüli, az L2 hullámhosszon négyzetelős vevőknél 2-3 m körüli tipikus hibaértékeket adtak. A kódészleléseket csupán az órahibák kinyerésére használatosak a geodinamikai adatfeldolgozásban. A következő lépés a fázisészlelések feldolgozása és a végső megoldások során a koordináták meghatározása. A fázis többértelműségek megoldását az ún. SIGMA Dependent algoritmussal végeztem. Először az L5 lineáris kombináció, majd az itt megoldott fázistöbbértelműségeket bevezetve L3 ionoszféra mentes lineáris kombináció (frekvencián). Az L5-ön közel 90-95%-os L3-on 85%-90%-os sikeres fázis többértelműség megoldás a közepes kiterjedésű hálózatokhoz képest is jó aránynak számít. A Saastamoinen troposzféra modell mellett, a troposzférikus zenitkésést szintén becsültem minden órára, és magassági szög függő súlyozást is alkalmaztam. A periódusonkénti koordináta és kovariancia adatokat számítottam dupla differenciákon minden észlelés és vektor figyelembe vételével, s e napi megoldások kombinációjával kaptam a végső koordináta és kovariancia adatokat az egyes mérési kampányok feldolgozása végeredményeként.

A hibaszámítást a GPS geodinamikában nem a formális hibákból készítettem, hisz az eredmények periódusonkénti formális hibabecslése a GPS fázisadatok túlmintavételezése miatt (az egymást követő fázisadatok nem teljesen függetlenek egymástól) optimista képet mutat. Az 1 tizedmilliméteres horizontális és a 4-5 tizedmilliméteres vertikális pontosság jelentősen túlbecsült érték. A napi megoldások szórása jelenti a realisabb, valóságghűbb hibaparamétert, melyben a legtöbb modellezés után maradt napi karakterisztikus periódussal rendelkező hatások kiátlagolódnak. Így az egyes pontok napi koordinátamegoldásainak a kombinált végső koordinátákhoz viszonyított különbségeiket hisztogrammon ábrázolva, a normál eloszlás szórása jelenti az adott mérési kampányra jellemző átlagos reális koordinátameghatározás hibáját.



8. ábra. A hisztogrammok a napi megoldások szórását mutatják az MGGA 2009-es mérési kampánya esetében a három koordinátakomponensben a végső koordinátamegoldások körül. (A magassági komponens alsó skálája különböző.)

Vízszintes értelemben 1-2 mm vertikálisan 3 mm pontosságot sikerült elérni, ami a ma véghezvihető legpontosabb pozíciómeghatározás ilyen térbeli méretek esetén.

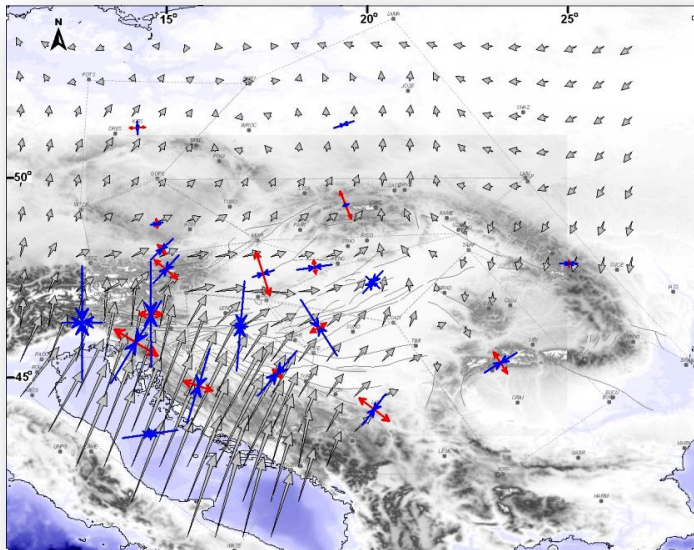
Hasonló adatfeldolgozás és hasonló hibaszámítások jellemzik a közép-európai adatok feldolgozását, melyet több központban végzünk és kombináljuk az eredményeket. A nagyobb vektortávolságok miatt más fázistöbbértelműség megoldást használunk, ezen kívül a fent leírtak igazak a CEGRN-ben végzett munkámra is. Az adatokat a feldolgozás után a többi ország hasonló eredményével kombináljuk, összehasonlítjuk. Majd egy megfelelő módon átlagot képezve kapjuk a közösség hivatalos koordináta megoldását az adott epochában.

Az úgynevezett aktív, azaz permanensen, állandóan észlelő geodéziai célú és állandósítással rendelkező hálózat adatait is célunk volt és a továbbiakban is az, hogy bevonjuk a mozgásvizsgálatba. Elkészültek az ebből számított sebességtérképek is. Összefoglalva kijelenthetjük, hogy az előzetes eredmények biztatóak, és idővel igen értékes kiegészítése lesz a geodinamikai eredményeknek. Teljes országos lefedettséget, egyenletes ponteloszlást biztosít. Az állandósítás és stabilitás, a földtani környezet reprezentációja nem geodinamikai szintű, de idővel az esetleges sajátmozgás eltávolítható. Az időbázis átlagosan még csupán átlagosan 2.5 év, de a folyamatos észlelések számos hibaforrást a feldolgozásnál detektálhatóvá, kiküszöbölhetővé tesznek. Ami a jelen eredményeken is látszik, hogy a Pannon-medence északkelet-délnyugati kompresszióját ezek a rövid adatok is már kirajzolják. A sebesség nagysága bizonytalan, még nem elég pontos és a változatos időbázistól függően igen eltérő, de a nagyarányú trendek detektálhatóak. Magassági értelemben is a dunántúli enyhe emelkedés és relatíve az északkeleti országrész stabilitása, enyhe süllyedése szintén sejthető, bár a hibahatárok még a jelnél sokszor nagyobbak. Az időbázist figyelembe véve 4-5 év múlva elérheti a tektonikai jelek szintjét sok GPS állomás esetében a sebességmeghatározás pontossága, amely térbeli felbontásban lényeges kiegészítést jelent majd a geodinamikai hálózatnak.

Deformáció analízis

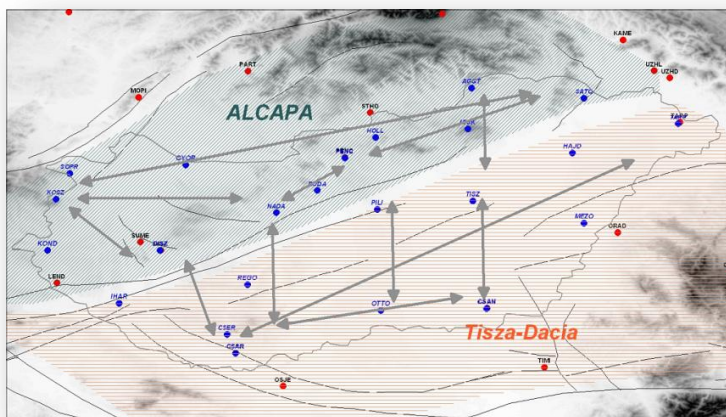
A CEGRN és MGGA koordinátaszámításaim eredményét kiértékeltem és elvégeztem a kéregmozgás sebességek számítását, majd interpolált sebességmezőt készítettem. A fődeformációs irányokat áttekintő jelleggel geológiai és geofizikai és geodéziai megfontolások által vezérelt szubhálózatokra számítottam ki egész Közép-Európát átfogóan. A 9. ábra szemlélteti együttesen a kéregmozgás irányát és nagyságát és a fődeformációs irányokat a CEGRN és az MGGA adatok alapján.

A sebesség meghatározás pontossága az MGGA hálózatban átlagosan ~ 0.2 mm/év a 95%-os konfidencia szinten, a CEGRN esetében ~ 0.3 - 0.4 mm/év. Ettől 0.1 - 0.2 mm/év eltérés lehet a sebességhibában amennyiben a pont valamely kampányban nem észlelt, vagy antenna fáziscentrum probléma nem tisztázott, vagy a mérési körülményei rendre kedvezőtlenebbek voltak. A mérések száma, pontossága, az adatfeldolgozás precizitása, s legfőképp az eltelt idő nagysága az MGGA hálózatban lehetővé tette a ± 0.2 mm/év pontosságú sebességmeghatározást, ami a legpontosabb geodinamikai hálózattá emeli európai szinten is! Erre a nagy pontosságra szükség is van a Pannon-medence és környezete mérsékelten aktív tektonikáját figyelembe véve.



9. ábra. A kéregmozgás és a nagyarányú fődeformációs irányok Közép-Európában CEGRN és MGGA adatok és saját, hazai adatfeldolgozásom alapján. Szürke nyilak az interpolált kéregmozgás sebesség vektorait (nagyságát és irányát) jelzik, a kék és piros nyilak a kontrakciós és extenziós fődeformációs irányokat és deformációs sebesség nagyságát mutatják az adott szaggatott vonallal keretezett térségre.

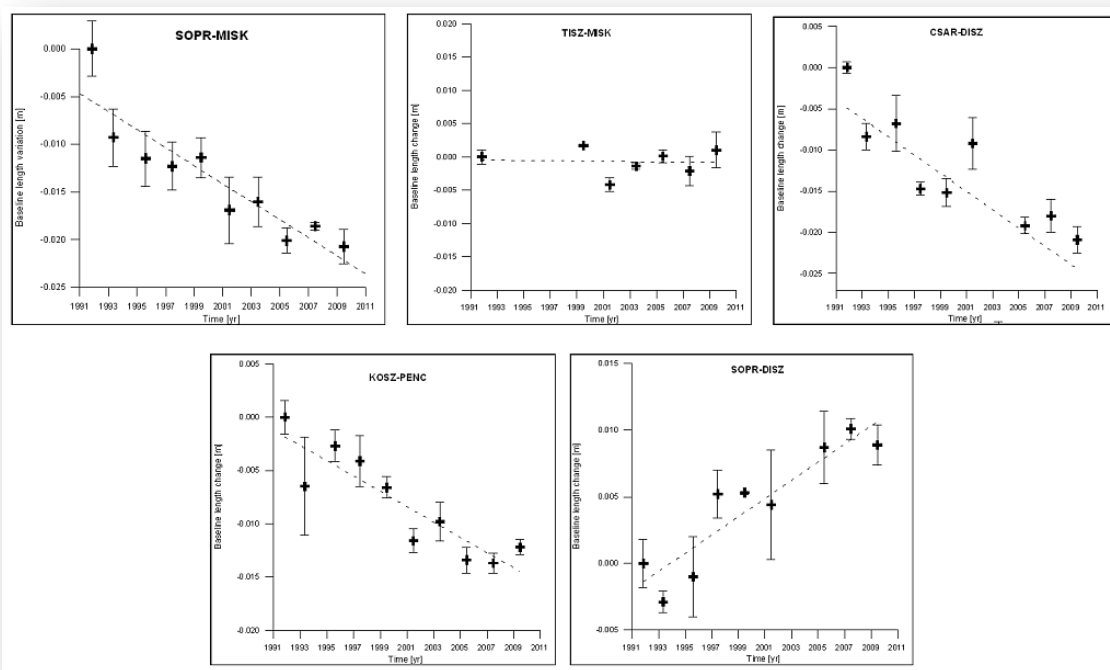
Az MGGA teret nyitott a nagyszerkezeti egységek deformációinak vizsgálatára is. Mind a Tisza, összetettebb értelemben Tisza-Dácia, mind az ALCAPA egység mára már számos ponttal reprezentálva van, sőt az egymáshoz viszonyított mozgásra is tudunk információkat levonni. A laza üledékes területekről eddig nem voltak információk, ma az Alföld, Kisalföld, Dunántúli-dombság mind képviselve van GPS kéregmozgási pontokkal. A kutatási projektem keretében jelentősen pontosodott, részletekben gazdagabbá vált az egész Pannon-medence deformációs képe. Az alábbi ábra néhány ízelítő példát nyújt az új, a projekt keretében feltárt ismeretekből, amely eredményeimet az azt követő bekezdésben tárgyalok.



10. ábra. A nagyszerkezeti egységek deformációinak áttekintése. Az ábra példákat jelöl, néhány tektonikai szempontból válogatott viszonylat között zajló jelenkori kéregmozgást, deformációt, melyet feltárt a kutatási program. A nyilak a viszonylatok jelzésére szolgálnak az értékek és a magyarázat a szövegben.

Az ALCAPA egység nyugati kéregszegmensének az Adriai mikrolemez és a Cseh Masszívum közül való kelet, észak-keleti préselődése a stabil Európai Platform felé okozza az ALCAPA és a Pannon medence északi részének jelenkori összenyomódását. Ezt a mérések nagyban pontosították, az ALCAPA belső deformációit feltárták. A 10. ábrán jelzett a medencét átfogó hosszú ALCAPA szakaszon 1.1-1.3 mm/év kontrakció mutatkozik a számításaim alapján, azaz az Alpok felől ekkora sebességű kéregmozgás mérhető. A kelet, északkelet - nyugat, délnyugat irányú ALCAPA sebességprofil a Pannon-medence középső részén jelzi ennek a kinetikus energiának az abszorpcióját egy viszonylag széles két-háromszáz km-es kontrakciós zónával, ahol 4-5 ppb/év deformációs sebesség detektálható. Az ALCAPA kisalföldi szegmensére jellemző egy északnyugat-délkeleti extenzió is 0.5 mm/év körüli sebességgel, míg a kelet-nyugat irányt a 0.6-0.7 mm/év összenyomódás jellemzi. A Budapest körüli 50-100 km-es zónában azaz az ALCAPA középső, kis területű szegmensén 0.4 mm/év körüli kontrakció zajlik. Ez a kis terület miatt relatíve nagyobb deformációs sebességnek felel meg. Az ehhez képest relatíve nagy keleti szegmens viszont csak 0.3-0.5 mm/év kismértékű kelet, északkelet-nyugat, délnyugat irányú kontrakciót szenved, míg erre nagyjából merőleges irányban insignifikáns a deformáció mértéke az adatok alapján. A Tisza-Dácia nagyszerkezeti egység sem merev, már a hibahatáron bőven kívül eső szignifikáns belső deformációk detektálhatók. A magyarországi részen 0.4-0.6 mm/év kelet-nyugati összenyomódás zajlik, hiszen az Adriai mikrolemez mozgási energiáját a Dinaridák deformációja nem abszorbálja, így az mögött a medence is kontrakciót szenved. Ebben az északkelet-délnyugati irányban pedig 1.0-1.1 mm/év sebességű a Tisza-Dácia egység térrövidülése az MGGA hálózatban. Ellentétben viszont az ALCAPA nagy részével, a Tisza-Dácia nagyszerkezeti egység jelentős észak-déli deformációt is szenved. Ez a keleti, nagyalföldi részen 0.8-1.0 mm/év kontrakciót jelent, viszont, ettől északra az ALCAPA középhegységi részén ilyen észak-déli deformáció már nem detektálható. A Tisza egység dunántúli részén ebben a nagyjából észak-déli irányban 0.6-1.0 mm/év az összenyomódás sebessége, viszont a deformáció sebessége nagyobb, hiszen ez kisebb területen zajlik. A két nagyszerkezeti egység határát képező közép-magyarországi vetőzóna ezen Kapos-vonal, Balaton-vonal szegmense bizonyosan dominánsan feltolódásos értelmű vetőkinematikával kell rendelkezzen a jelelős kontrakció miatt. A pontos lokalizációt az MGGA pontsűrűséggel nem lehet adni. Erre a jelentésben felvázolt további kutatási javaslat adhat majd információt. A közép-magyarországi vetőzóna kompressziós, feltolódásos komponense valószínűsíthető végig a zóna mentén, de hogy a területen tapasztalt kompresszió ott mennyi százaléka esik a vetőzónára és mennyi a Tisza belső deformációjára csak finomszerkezeti felbontással lehet majd vizsgálni. Az oldalelmozdulásos komponens igen kismértékű lehet, hisz nagy eltérést a vetőzónával párhuzamosan a két nagyszerkezeti egység sebességét illetően nem tapasztalhatunk. Valószínűsíthető azonban a vetőzóna különböző szegmenseinél különböző mértékű a nyíródeformáció, hiszen az tapasztalható, detektált, hogy a nagyszerkezeti egységek deformációja nem teljesen uniform, így azokon a részeken, ahol szabad tere van az egyiknek és ezért kevésbé deformálódik, a másik esetében erősebb a deformáció, a fékeződés és jobban abszorbálja az Adria okozta mozgást, s így ott jelentősebb köztük ez az északkelet-délnyugati vetőzóna nyíródeformációja. Az adatok felbontásából nem megállapítható, hogy kinematikai értelemben lehet-e egyáltalán független egységekről beszélni, vagy a deformáció nagymértékben áthat és a vetőzónák szerepe esetleg kicsi. Erre további felbontásbeli javulás szükséges. A kisebb alegységek relatív mozgására is van információnk, de ennél a felbontásnál egy-egy GPS pont reprezentálja csak az adott alegységet, így a következtetések csupán egy-egy pontból vonhatók le. Ez alapján elmondható, hogy a Mecsek és Villány hegységek és a Bakony között 0.6-1.0 mm/év közeledés detektálható, az Északi-középhegység kismértékű 0.3-0.5 mm/év kelet-nyugati és nem szignifikáns észak-déli deformációval jellemezhető. A Nagyalföld mindkét irányból kompresszáldódik, a Kisalföld viszont csak kelet-nyugati irányban, a Dunántúli-dombságra pedig észak-dél irányú összenyomódása jellemző. Az Alpokalja 1.2 mm/év sebességgel közelít az Északi-középhegység keleti részéhez, de a Pilis, Börzsöny, Gerecse, Cserhát középhegységi elemekhez viszonyítva 0.6-0.7 mm/év ez a sebesség a medence belső deformációja miatt. A Mecsek és Villány hegységek a Nagyalföld északkeleti részéhez képes 1.0-1.1 mm/évvel közelednek, a Nagyalföld déli része a Mátra és Bükk hegységek között 0.9 mm/év körüli a térrövidülés, de ez lezajlik a Nagyalföld északi részéig, a Mátrára és a Bükkre valamint közvetlen

előtereire már kevés kompresszió jut. Az adatok kiértékelése és interpretációja még több éves feladat, hogy minden részletre kiterjedő képet lehessen alkotni és értelmezést lehessen adni a jelenben zajló kéregmozgásokra. Az alábbi 11. ábrán a fenti információk levonására szolgáló vektor, vagy bázisvonalhossz analíziseim közül mutat példákat néhány reprezentatív vonatkozásban.

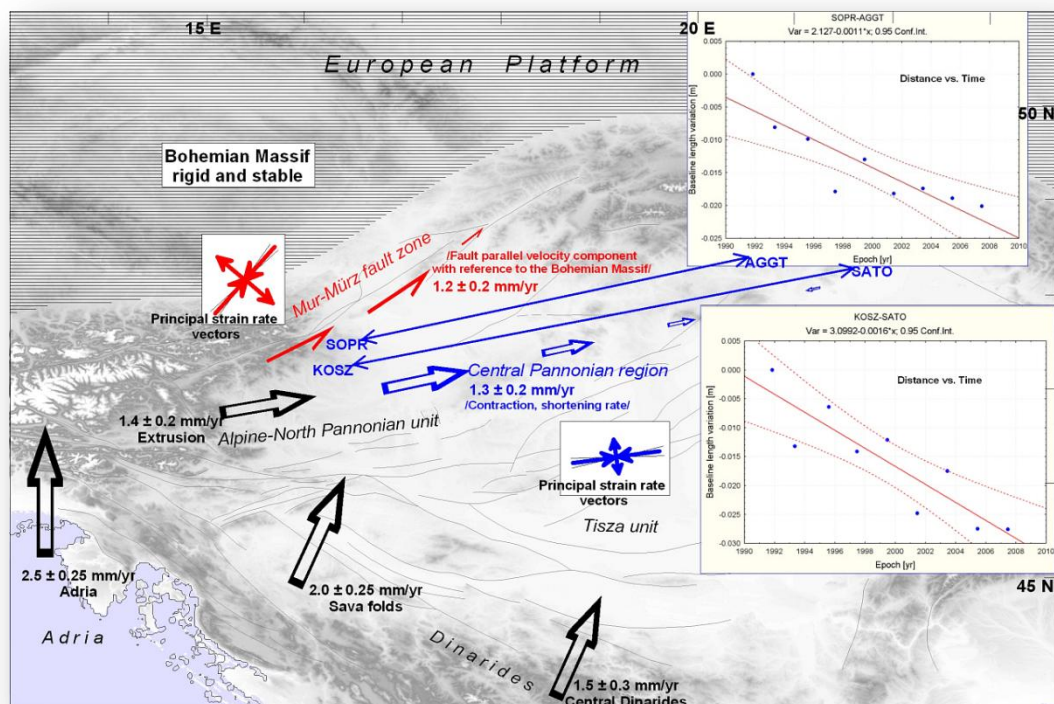


11. ábra. Példák a 10. ábrán jelzettek közül néhány viszonylathoz köthető egyes vektorok hosszváltozásáról. A geodinamikai GPS pontok távolságváltozását, annak idősorát mutatja a szélső pontosságú mérési kampányok adatain végzett számításaim alapján.

GPS kéregmozgás és a földrengésadatok összehasonlítása

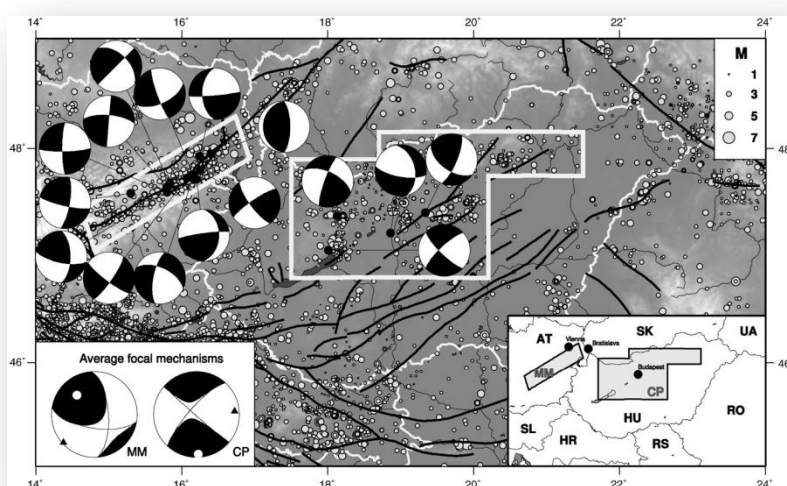
Az értelmezés és kiértékelés nemzetközi szinten is egyik leginnovatívabb szárnya GPS kéregmozgás adatok és a földrengésadatok összehasonlítása, így a tudományos jelentőség mellett a komoly társadalmi impaktja miatt részletesen vizsgáltam az ALCAPA belső deformációját és a Mur-Mürz zónát és az ezeken a helyeken lezajló jelenkori tektonikai folyamatokat GPS adatok segítségével. Szeizmológus kollegákkal együtt pedig veszélyeztetettségre utaló számításokat végeztünk GPS és földrengés adatokból. Vizsgáltuk három ország fővárosának és környezetüknek kéregmozgásból, földrengésből származó veszélyeztetettségét. Budapest, Bécs és Pozsony ezekben a szeizmogén zónákban helyezkednek el, s az egyes országok a GDP 30-40 %-át ezekben a régiókban termelik. Így különösen fontos a tektonikus mozgásból és következményeiből adódó veszélyeztetettség ismerete Közép-Magyarországon és a Mur-Mürz zónában.

Első lépésként meghatároztam a jelenkori kéregmozgást és a tektonikai mechanizmust a két vizsgálati területen GPS adatok segítségével. Kiszámítottam a jelenleg uralkodó fődeformációs irányokat és meghatároztam a deformációs sebességeket. A 12. ábra szemlélteti összefoglalva a kapott eredményeket a kéregmozgásra és deformációra a két szeizmogén zónában, ezek térbeli kijelölése földrengés adatok alapján történt, amit a 13 ábra mutat be.



12. ábra. A GPS kéregmozgás adatokból származtatott fődeformációs irányok és nagyságok, s azok hibái valamint a kéregmozgás sebességek a két területen. A fekete sebességértékek a közép-európai adatokkal együtt integráltan számított kéregmozgás sebességtérkép (9. ábra) adott területre vonatkozó értékeit és irányait mutatják.

A GPS deformációs térképet összevetettük a szeizmicitás térképpel és a fészekmezhanizmusokból meghatározott deformációs irányokkal. Összegyűjtöttük a fészekmechanizmus megoldásokat és aktualizáltuk és elemeztük a földrengéskatalógust. Földrengés adatokból meghatároztuk a szeizmikus deformációs sebességet a két zónára a Kosztrov összegzés segítségével.



13. ábra. A vizsgált két szeizmogén zóna a Mur-Mürz vonal és Közép-Magyarország. A jobb alsó sarok mutatja az átlagos földrengés fészekmechanizmust a két területre jellemzően.

A GPS kéregmozgásvizsgálati adatok és a szeizmikus adatok összehasonlításával megállapítottuk a kétféle deformáció arányát, a szeizmikus hatékonyságot mindkét zónában. Így közelítően, leegyszerűsítve megbecsültük, hogy hány százaléka szabadul fel földrengések során a

kéregmozgásból következő deformációs energiának vizsgált időszakban. Ez a veszélyeztetettségére és a hely reológiájára is következtetéseket engedett levonni.

A GPS adatok alapján meghatározott nagyobb kéregmozgás sebesség miatt vizsgáltuk az aszeizmikus (rideg, töréses, földrengés tevékenységgel NEM járó, azaz képlékeny) deformáció valószínűségét és arányát a hiányzó, azaz még nem detektált és várható nagyobb földrengés, mint szintén magyarázó okok viszonylatában. A geodéziai és szeizmikus deformáció sebesség aránya, avagy a szeizmikus hatékonyság 17 %-nak adódott a közép-magyarországi zónára. Azaz a geodéziai deformáció lényegesen nagyobb mértékű, mint a szeizmikus. Az alacsony hatékonyság vagy azzal magyarázható, hogy a deformáció jelentős részben aszeizmikus módon megy végbe, vagy pedig, hogy egy nagy földrengés előkészületeként feszültségfelhalmozódás zajlik. Feltételezésünk szerint eredményünk az aszeizmikus deformáció mechanizmusának tulajdonítható és nem egy jövőbeli nagy földrengés előjeleként értelmezendő, erre utalnak a reológiai viszonyok, s hogy a maximális becsült magnitúdóhoz közeli esemény időben közel zajlott és a katalógus tartalmazza. A Mur-Mürz zóna esetében az tapasztaltuk, hogy több értékkel kell számolnunk az Mmax rengés és a vetőzóna nagyságától függően, ami 54-92%, de lokálisabb zónakijelölés esetén már 34-58% az érték. Az ókori Carnuntumban bekövetkezett paleorengés szintén nagymértékben befolyásolja a veszélyeztetettséghez kötődő megállapításokat s tágítja az intervallumot hozzájárulhat az összehasonlítás hitelességéhez.

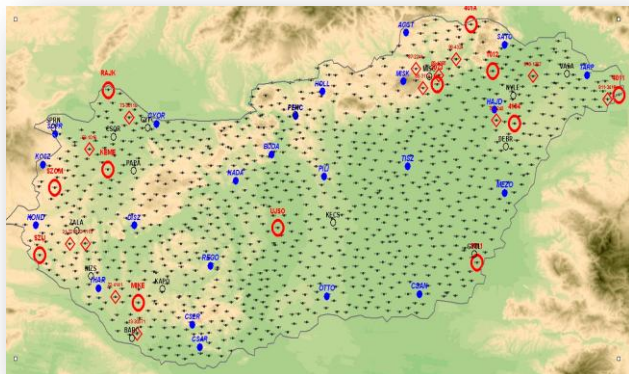
A kéregmozgás és deformáció ismerete jelentősen hozzájárul a szeizmikus veszélyeztetettség-számítás bemenő adatainak pontosításához. Így ha egy adott szeizmogén zóna esetében meg tudjuk becsülni az átlagos deformációsebesség tenzort, akkor információhoz juthatunk a területen zajló deformációs folyamatok stílusa, iránya és nagyságrendje tekintetében. A deformációsebesség tenzor különféle adatokon alapuló számítási eljárásai pedig bepillantást engednek a kéregdeformáció különböző típusaiba. A szeizmikus és geodéziai deformációsebesség arány minél közelebb van egyhez, a deformáció annál nagyobb hányada szeizmikus eredetű, míg nullához közeli értékek esetén a deformáció jellemzően aszeizmikus módon megy végbe, vagy pedig feszültség-felhalmozódás van folyamatban, ami előbb-utóbb földrengések kipattanásához vezethet. E kettőség értelmezése nem egyértelmű tudományos probléma. A fenti számításainkkal ezt körülvárva járultunk hozzá az említett fővárosok veszélyeztetettségének jobb megismeréséhez, melyet a Tectonophysics folyóiratban publikáltunk (lásd irodalomjegyzék).

A kutatási program kitekintése, jövőbeli folytatásának irányai

Az MGGA hálózat sikere nemcsak a geodinamika, hanem a geodézia terén is megmutatkozott, hiszen ez a legpontosabb, legszigorúbban állandósított hálózat és a megteremtett országos lefedettsége miatt az adatfeldolgozás után ezeket az eredményeket a tudományos eredmények mellett az állami földmérés az OGPSH geodézia országos hálózat alapjául választotta. A geodinamikán kívül további számos hozadéka született már az ezirányú kutatásaimnak. Rámutatott az antennna kalibráció szükségességére 1997-ben, így kalibráló hálózat épült, ami azóta is sikeresen működik. OGPSH geodéziai hálózat alapjává vált, valamint ezzel az EOVS-WGS84 konverzióknak is alapja lett, a meghonosított szélső pontosságú adatfeldolgozás pedig az EOMA, valamint GNSS és EPN adatfeldolgozó központok bázisát is jelenti. Mindemellett tíz lokális, subregionális hazai GPS hálózat technológiai hátterét és referenciáját teremtette meg már a hazai GPS geodinamikai hálózat.

A geodinamika kutatásaim továbblépéseként kidolgoztam és felvázoltam a lehető legsűrűbb azonnali GPS kéregmozgásvizsgálat lehetőségét. A fenti eredmények mellett az évek során számos tudományos és különböző szakmai igény merült fel a deformációk még pontosabb, és jóval nagyobb felbontású meghatározása iránt. Egyes szeizmogén zónák, egyes vetők, törések, geomorfológiai szempontból, vízrajzi szempontból lényeges régiók, valamint nagyfontosságú létesítmények, ipar

száma jelentős szerkezeti egységek, részletes mozgásvizsgálata sokkal jobb térbeli felbontást igényel. Kidolgoztam egy kutatási tervet, integrált GNSS geodinamika néven, mellyel a leghatékonyabban lehet a GNSS geodinamikai kutatásokat a 'végső' pontosság és felbontásig elvezetni.



14. ábra. A javasolt geodinamikai tesztmérési pontjai (piros), az MGGA (kék) és a geodinamikai kutatásba bevont hálózat ponteloszlása (fekete). Látszik a drámai felbontásbeli különbség lehetősége a fekete és színes pontok eloszlásának összehasonlításával.

A tervem első lépéseként az OGPSH tektonikai mozgásvizsgálati tesztjét (14. ábra), majd a folyamatos GNSS észlelések és az epocha kampányok adatainak közös analízisét, az aktív GNSS és geodinamikai hálózatok integrált feldolgozását és kiértékelését kell végrehajtani. A javasolt OGPSH-MGGA teszt sikere esetén pedig az OGPSH geodinamikai igényű újramérésének programját dolgoztam ki. Ennek eredményeként létrejövő adatokkal a jelenleg ismert tudományos és műszaki, szakmai geodinamikai igények kielégíthetők, a kéregmozgás pedig példa nélküli felbontásban megismerhető.

Összefoglaló

Megvizsgáltam a GPS Kerethálózatot pontjait, környezetét, s azok geodinamikai alkalmazhatóságát, a laza üledékes területeket a GPS mozgásvizsgálatba sikeresen bevontam. Teljes országos lefedettségű szélső pontosságú GPS mérési kampányokat szerveztünk és hajtottunk végre az összes GPS ponton. Ezzel az integrációval hoztam létre a Magyar GPS Geodinamikai Alaphálózatot. Mérési kampányokat koordináltunk a közép-európai geodinamikai hálózatban is 14 ország részvételével, számos analízist végeztünk, s a nemzetközi eredményeket publikáltuk. A CEGRN Konzorciumban titkári és irányító tanácsstagi tisztséggel láttak el, majd felkértek elnököknek. A TISZA nagyszerkezeti egység jelentősebb, nagyarányú deformációit feltártam, az ALCAPA belső deformációit pontosítottam, alegységenként meghatároztam. A nagyszerkezetek relatív mozgását és a közép-magyarországi nyírózónát vizsgáltam, és az első következtetéseket levontam. A GPS kéregmozgás adatokat földrengésadatokkal szeizmológus kollegákkal kooperációban összehasonlítottuk. A Mur-Mürz zóna esetében a deformáció és hatására létrejövő földrengéseket analízálva a GPS adatokkal a hozzájárultunk a földrengésveszély jobb, pontosabb megismeréséhez. A közép-magyarországi térség földrengés veszélyeztetettségére utaló adatokat is kiszámítottuk, az aszeizmmikus deformáció arányát megállapítottuk. Kidolgoztam egy integrált GNSS geodinamikai kutatási tervet a 'végső', azaz az eddigi minden felmerült igényt kielégítő pontosság és felbontásig elvezetve a kéregmozgás és deformáció feltérképezését.

Konferencia megjelenések a projekt kutatási témájában

- European Geosciences Union General Assembly, 2007
- EGU 2nd Alexander von Humboldt International Conference on The Role of Geophysics in Natural Disaster Prevention, 2007
- European Geosciences Union General Assembly, 2008
- Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF), 2008
- American Geophysical Union Fall Meeting, 2008
- Geomatika Szeminárium, 2008
- 13th Meeting of the Czech Tectonic Studies Group, 2008
- CEGRN Consortium Governing Board Meeting, 2008
- European Geosciences Union General Assembly, 2009
- CEGRN Consortium Meeting, Austrian Academy of Sciences, 2009
- IAG Scientific Assembly, 2009
- CEGRN Consortium Meeting, Austrian Academy of Sciences, 2010
- European Geosciences Union General Assembly, 2010

Hasznosítás

A hazai jelenkori geokinetika feltérképezése számos igen jelentős, több tudományterületen hasznosuló új alapvető tudományos eredményt jelentenek.

Tudományterületenként a hasznosítási lehetőségek szerteágazóak, melyekre főbb példák a következők: A természeti veszélyeztetettség becslés területén a szeizmológiában a földrengés kockázat meghatározásának egyik legalapvetőbb bemenő paramétere a jelenkori kéregmozgás. A vetők lehetséges aktivitása, kiterjedése és a felhalmozódó deformációs energia becslése illetve a törésvonalak menti lehetséges mozgássebesség 'slip rate' meghatározása. A geomechanikában a talajstabilitásra, földcsuszamlás vizsgálatánál stabil referenciaként, illetve a mérnökszeizmológiában stabilitási szint megállapítására, illetve az aktív törésvonal detektálása e tudományok legtöbb területe számára jelentős ismeret. Geomorfológiában a Holocén mozgások ismerete nagy előrelépés, a geológiai, geofizikai mozgásindikátorok a Holocént nehezen reprezentálják, a folyódinamika esetében a folyók evolúciója, gyűjtőterületek illetve a gátak esetében elsősorban a vertikális mozgások ismerete a fontos. A geodézia területén az égi és földi referencia rendszerek vizsgálata illetve hazai megvalósítása szintén alapvető ismeret, melyet a GNSS méréseink, és eredményeik szolgáltatnak. A földmérés területén a statikus hálózatok kora a geodinamikának köszönhetően hanyatlásban van, a megjelenő mozgások sok esetben a földmérés számára kezelhetetlenné teszi a rendszert és eredményeit. A megoldást a fenti és még ennél sűrűbb mozgástérkép megalkotása jelenti. A medenceanalízis területén pedig a projekt keretében történő Neogén evolúció jobb megismerése, és a kőzetfizika esetében a jelenkori pórusnyomás, kőzetfeszültség okainak kvantitatív megismerése igen jelentős. A lemeztektonika alapját jelentik az itt meghatározott kéregmozgás és deformációs viszonyok, melyeket a geofizika és geológia általánosan, széles körben használ.

Irodalomjegyzék

OTKA fiatal pályakezdő F-68497 azonosítóval rendelkező kutatási program keretén belül megjelent publikációk főbb adatai a futamidő alatt:

Folyóirat:5

Konferencia: 11

Impakt faktor összesen 2007-2010: 7.461

Becker, M.; Caporali, A.; Drescher, R.; Gerhatova, L.; Grenerczy, G.; Haslinger, C.; Hefty, J.; Krauss, S.; Liwosz, T.; Stangl, G. Reprocessing CEGRN campaigns 1994-2006, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2007-A-03183, 2007.

Becker, M., Caporali, A., I. Fejes, L. Gerhatova, D. Ghitau, G. Grenerczy, J. Hefty, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stang, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, The new CEGRN GPS campaign 2009 and CEGRN's Central European Research Activities, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-5392, 2010.

Bus, Z., Grenerczy, Gy., Tóth, L., Mónus, P. Active crustal deformation in two seismogenic zones of the Pannonian basin - GPS versus seismological observations, 13th Meeting of the Czech Tectonic Studies Group "CTS", Slovakia, April 23-26, Slovakia, 2008.

Bus, Z., Gy. Grenerczy, L. Toth, P. Monus, Active crustal deformation in two seismogenic zones of the Pannonian basin - GPS versus seismological observations, doi:10.1016, *Tectonophysics* 474, 343–352, 2009.

Caporali, A., M. Becker, I. Fejes, L. Gerhatova, D. Ghitau, G. Grenerczy, J. Hefty, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stang, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, Geokinematics of Central Europe: new insights from the CERGOP-2/Environment Project, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2007-A-06161; 2007.

Caporali, A. C., Aichhorn, M. Becker, I. Fejes, D. Ghitau, G. Grenerczy, J. Hefty, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stangl, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, Geokinematics of Central Europe: new insights from the CERGOP-2/Environment Project, *Journal of Geodynamics*, Vol. 45 No. 4-5, 246-256, 2008.

Caporali, A., M. Becker, I. Fejes, L. Gerhatova, D. Ghitau, G. Grenerczy, J. Hefty, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stang, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, Linking Nubian and Central European geodetic networks with a new GPS combination solution, *Geophysical Research Abstracts*, EGU2009-6900, 2009

Caporali, A., M. Becker, I. Fejes, L. Gerhatova, D. Ghitau, G. Grenerczy, J. Hefty, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stang, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, Surface kinematics in the Alpine-Carpathian-Dinaric and Balkan region inferred from a new multi-network GPS combination solution, *Geophysical Research Abstracts*, EGU2009-3428, 2009.

Caporali, A. C., Aichhorn, M. Becker, I. Fejes, D. Ghitau, G. Grenerczy, J. Hefty, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stangl, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, Surface kinematics in the Alpine-Carpathian-Dinaric and Balkan

region inferred from a new multi-network GPS combination solution *Tectonophysics*, 474, 295-321, 2009

Cloething, S., Ziegler, P. A., Bogaard, J. J. F., Andriessen, P. A. M., Artemieva, I. M., Bada, G., Van Balen, R. T., Ben-Avraham, Z., Brun, J.-P., Bunge, H. P., Burov, E. B., Carbonell, R., Faccena, C., Friedrich, A., Gallart, J., Green, A. G., Heidbach, O., Jones, A. G., Matenco, L., Mosar, J., Oncken, O., Pascal, C., Peters, G., Sliupa, S., Soesoo, A., Spakman, W., Stephenson, R. A., Thybo, H., Torsvik, T., De Vicente, G., Wenzel, F., Wortel, M.J.R., Achauer, U., Ádám, A., Barabás, A., Beekman, F., Behrmann, J., Beylich, A., Bonow, J. M., Braun, J., Buiter, S., Csontos, L., Dehls, J., Dèzes, P., Dinu, C., Dombrádi, E., Ebbing, J., Eide, E., Fancsik, T., Fodor, L., Fredin, O., Frisch, W., Gemmer, L., Genser, J., Grenerczy, G., Hagedoorn, J. M., Harangi, Sz., Hegedűs, E., Helge, A., Hendriks, B., Horváth, F., Horváth, E., Houseman, G. A., Igel, H., Japsen, P., Kiss, J., Klemann, V., Kuhlemann, J., Lankreijer, A., Larsen, E., Lauterjung, J., Longva, O., Ludden, J., Lundin, E., Madarasi, A., Maguire, P., Molnár, G., Nádor, A., Negendank, J., Neubauer, F., Novak, A., Olesen, O., Osmundsen, P. T., Pascal, C., Puigdefabregas, C., Rise, L., Ruzsáczay, Zs., Sacchi, M., Schmid, S., Smelror, M., Stackebrandt, W., Stalsberg, K., Steel, R., Steinberger, B., Szabó, Cs., Szafián, P., Szarka, L., Székely, B., Sztanó, O., Tesauro, M., Thieken, A., Timár, G., Tóth, L., van Enst, J., van Wees, J. D., Varga, G., Wéber, Z., Wilson, M., Wolf, D., 2007: TOPO-EUROPE: the Geoscience of Coupled Deep Earth – Surface Processes. *Global and Planetary Change* 58: 1-118. ISSN 0921-8181

Grenerczy Gy., L. Toth and Z. Bus, Active tectonics and earthquake potential in two Eurasian continental intraplate environments, AVH2-A-00113 in Abstract Volume of the EGU 2nd Alexander von Humboldt International Conference on The Role of Geophysics in Natural Disaster Prevention, Lima, Peru, 2007.

Grenerczy, Gy., és Fejes I., A magyarországi GPS mozgásvizsgálatok 16 éve, *Geodézia és Kartográfia*, 59/7, pp. 3-9, 2007.

Grenerczy Gy., Bus, Z., Tóth, L., Mónus, P GPS Versus Seismological Observations in two Seismogenic Zones in the Adria-Alps-Pannon System; Block Motion vs. Diffuse Deformation, Increased Earthquake Potential vs. Aseismic Slip, G21A-0672, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December, 2008.

Grenerczy Gy. és Kenyeres A., GPS hálózatok integrált kéregmozgás-vizsgáló analízise, Geomatika Szeminárium, Sopron, 2008.

Kenyeres A., M Figurski, Grenerczy Gy., Permanens állomáshálózatok a GPS kampányok eredményeinek újra feldolgozása: nemzetközi és hazai eredmények Geomatika Szeminárium, Sopron, 2008.

Hefty J., A.Caporali, M. Becker, I. Fejes, L. Gerhatova, D. Ghitau, G. Grenerczy, D. Medac, G. Milev, M. Mojzes, M. Mulic, A. Nardo, P. Pesec, T. Rus, J. Simek, J. Sledzinski, M. Solaric, G. Stang, F. Vespe, G. Virag, F. Vodopivec, F. Zablotzkyi, Geokinematics of Central Europe: new insights from the CERGOP-2/Environment Project, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2007-A-04790, 2007.

Budapest, 2010 július 30.

Dr. Grenerczy Gyula
FÖMI-KGO